

Estimación de la humedad de los tapones de corcho

Escrito por:

Fernández-Gollín, J.L.¹; Conde García, M.²; Conde García, M.¹; González Hernández, F.¹; Fernández-Gollín, J.J.³; González Adrados, J.R.¹

¹Centro de Investigación Forestal, CIFOR-INIA

²Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes (Univ. de Córdoba)

³Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Univ. Politécnica de Madrid)

mediante medida de la resistencia eléctrica

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos en el Departamento de Productos Forestales del CIFOR-INIA sobre la relación entre la resistencia eléctrica y el contenido de humedad de los tapones de corcho. Estos resultados muestran que los medidores de humedad utilizados habitualmente en la industria pueden alcanzar una precisión elevada, siempre y cuando se tenga en cuenta la influencia de los distintos factores que afectan a la relación resistencia eléctrica-humedad: tipo de tapón, dirección de la medida, temperatura del material. Además, se han obtenido los modelos matemáticos que permiten la calibración de cualquier aparato de este tipo de manera rápida y sencilla.

El contenido de humedad afecta a la mayoría de las propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas no sólo de la madera, sino también del corcho. Esta afectación se produce sobre las materias primas y productos semielaborados y, también, sobre los productos en servicio.

Para determinar el contenido de humedad de una muestra, en nuestro caso de corcho, el método más fiable es el de estufa, consistente en la determinación del peso de la muestra en húmedo (con la humedad a determinar), su posterior secado hasta masa constante a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ y la determinación final de la masa anhidra.

Tras esto, un simple cálculo permite la obtención del contenido de humedad referido a la masa anhidra que, normalmente, se expresa como el porcentaje de agua presente en la muestra respecto de la masa anhidra. Este es el método de referencia para la determinación de la humedad en las normas UNE e ISO relativas a los tapones de corcho.

Aunque el método de estufa es el más preciso y, por tanto, el más empleado cuando la precisión es un factor crítico, por ejemplo en la resolución de conflictos o en la calibración de máquinas, sin embargo, es un método que requiere largo tiempo, es caro (requiere el empleo de equipos costosos) y, además, es destructivo (la muestra queda inutilizada). Por dicho motivo, el método de estufa no puede ser, ni lo es, un método útil para el día a día de la empresa.



Proceso de hervido de las planchas de corcho en una fábrica.

Para la rápida estimación del contenido de humedad, la industria de la madera ha venido usando durante décadas dos diferentes familias de equipos: los basados en la medida de la resistencia eléctrica y los basados en la medida de determinadas propiedades dieléctricas del material (capacitancia y factor de potencia). De estas dos familias de equipos la de más extendido uso es la primera, si bien, los medidores por capacitancia son de uso habitual para el control integrado de la humedad en líneas de fabricación, ya que no requieren, como los primeros, el contacto físico con el material.

La utilización de equipos de medida de la re-

sistencia eléctrica esta recogida en la normativa UNE, CEN e ISO como método "rápido" para la estima del valor de la humedad del material.

La industria del corcho no es ajena a estos desarrollos de la industria de la madera y los medidores por resistencia son hoy en día de habitual uso en las fábricas y bodegas.

Aunque los principios básicos de funcionamiento de ambos métodos son muy conocidos desde que Hiruma los estableció sobre madera en 1915 y Hasselblatt (1926) y Stamm (1927) los fundamentaron sobre el mismo material, su utilidad industrial está todavía necesitada de ciertas mejoras para alcanzar el nivel de precisión necesi-

rio. Uno de los factores que más afectan a la precisión de estos equipos es la curva patrón interna (o curva de calibración del aparato), que relaciona la variable medida por el aparato con la humedad de la muestra.

En lo que hace referencia a los medidores por resistencia eléctrica (objetivo del presente trabajo), la mayor parte de los medidores portátiles presentes en el mercado —Aqua-boy en el caso del corcho— hacen uso de curvas internas de calibración (que relacionan la resistencia eléctrica medida sobre el material con su humedad) hoy por hoy desconocidas por no haber sido nunca publicadas. De esta forma, no se sabe, salvo por contraste con la medida de humedad obtenida mediante el método de referencia (estufa), el rango de aplicación de cada aparato (intervalos de humedad en el que aporta medidas fiables), la incertidumbre de medida y las correcciones a considerar en función de las diferentes formas de presentación (por ejemplo, tapones naturales, aglomerados, microgranulados, etc.).

Sin embargo, el conocimiento de las curvas patrón por tipo de material y de la incertidumbre de la medida en función del valor de la humedad es algo vital para la mejora cualitativa de los productos, así como una necesidad para la calibración y/o verificación del funcionamiento de los equipos disponibles en una industria, aspectos éstos, también, de importancia cuando una industria se plantea la implantación de la norma ISO 9000 o, simplemente, de un Manual de Control de la Producción en Fábrica.

El objetivo del presente artículo es informar de los primeros resultados obtenidos en el Departamento de Productos Forestales del CIFOR-INIA, en el seno del proyecto RTA 2008-00005, sobre diverso material de corcho. Este trabajo continúa en la actualidad, ya que se está analizando tanto el comportamiento de más tipos de tapones de corcho como el efecto que la temperatura del material pueda tener en la medida (corrección por temperatura).



El modelo para estimar la humedad en los tapones naturales es distinto al empleado con tapones aglomerados.

VARIABLES QUE AFECTAN A LA MEDIDA

Para que el lector tenga una mejor comprensión del reto al que nos enfrentamos para obtener medidas precisas, seguidamente se detallan las variables que potencialmente, y en una cuantía en muchos casos desconocida, pueden afectar a la medida de la humedad en un tapón de corcho

- Variables internas, propias del material:

- Forma de presentación (natural, aglomerado).
- Densidad y/o procedencia.
- Temperatura.
- Dirección de medida.
- Componentes químicos (tratamientos superficiales sobre todo).
- Gradientes internos de humedad.
- Efecto de anomalías anatómicas del material.

- Variables externas, propias del proceso de medida:

- Características geométricas de los electrodos (forma, aislamiento perimetral, separación, profundidad de medida).

—Presión de contacto y/o relajación del mismo.

—Dimensiones y forma de las muestras.

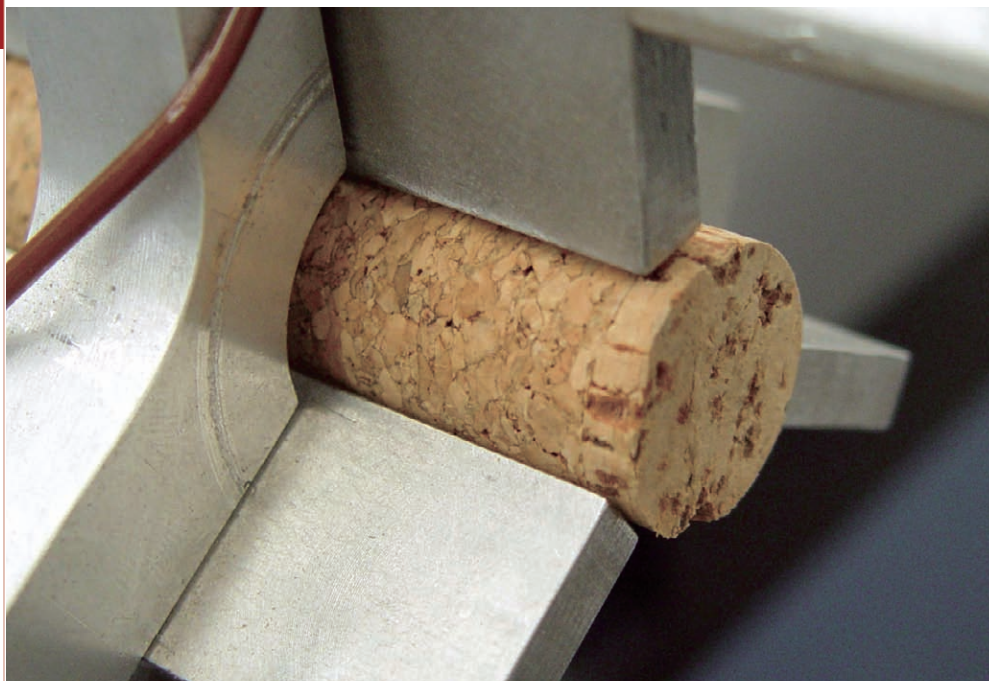
—Efectos electrolíticos.

—Voltaje aplicado y duración de la medida.

Gran parte de las variables anteriormente mencionadas son controlables estableciendo metodologías de medida adecuadas (variables externas, orientación estructural, gradientes de humedad y tratamientos químicos aplicados al corcho), —parte de ellas reflejadas en la norma europea EN 13183-2 aplicable a la madera—, mientras que otras, como la procedencia, han de ser integradas en el muestreo del material de ensayo. En lo que hace referencia a la densidad, diversos estudios efectuados sobre madera ponen de manifiesto que su efecto sobre la resistencia eléctrica es no significativo.

Para establecer el modelo matemático que liga la resistencia eléctrica con el contenido de humedad del corcho, en el presente trabajo se hace uso del modelo logarítmico utilizado habitualmente para la madera, que puede ser expresado





Máquina para el calibrado del tapón de corcho.

como sigue:

$$\text{Log}[\text{Log}(R)+1]=a.h+b$$

(Donde R es la Resistencia, en Mohms, y h es el contenido en humedad del corcho, en porcentaje).

Aparte de su comprobado buen ajuste, la utilización de este modelo tiene la ventaja añadida de permitir la comparación de los resultados obtenidos sobre corcho con los obtenidos, por este mismo equipo investigador, sobre diversas especies de madera.

FORMA DE EFECTUAR LAS MEDIDAS

Para que se pueda comprender mejor hasta qué punto las medidas son aplicables a cada caso concreto, es importante conocer cómo se han efectuado en el caso del presente estudio.

Cuatro grupos compuestos por tres tapones de cada uno de los lotes indicados en la TABLA 1 (abajo de la página) fueron pesados e introducidos en cuatro cámaras climáticas (20°C/HR 40±5%, 20°C/HR 65±5%, 20°C/HR 80±5%, 25°C/HR 85±5%), totalizando 48 muestras de ensayo. Tres tapones de cada lote fueron dejados en reserva. Una vez introducidos en las cámaras climáticas se monitorizó semanalmente la ganancia o pérdida de masa de cada tapón, considerando-

se que el equilibrio se había alcanzado cuando la variación semanal de la masa era inferior o igual a un 0,1%. El período total de estabilización duró cuatro meses.

Tras su acondicionado y para evitar pérdidas o ganancias de humedad durante el proceso de medida, todos los tapones fueron introducidos en recipientes de plástico de pequeño tamaño que habían sido previamente acondicionados en las mismas cámaras de ensayo. Tras su introducción en los recipientes de transporte, las muestras procedentes de la cámara de 25°C/HR85% fueron aclimatadas térmicamente a 20°C mediante su introducción durante dos horas en la cámara de 20°C/HR 80%.

La medida de la resistencia eléctrica de los tapones se efectuó mediante un medidor de alta potencia AGILENT 4339B (Voltaje: 10 voltios; Temperatura: 20°C; Duración de la medida: 5 s)

Para efectuar la medida de resistencia eléctrica se hizo uso de dos electrodos de acero inoxidable sin aislar con las siguientes especificaciones:

- Diámetro: 1,8 mm.
- Longitud: 25 mm.
- Separación entre electrodos: 8,5 mm.

Esta configuración de medida fue adoptada por ser la habitualmente usada por la industria

corchera en los equipos Aqua-Boy ya que el reducido diámetro de los tapones (23 mm.) impide el empleo de la configuración habitualmente usada por la industria de la madera (separación de electrodos de 30 mm.).

Para la medida, los electrodos fueron introducidos en las muestras de acuerdo con las siguientes especificaciones:

—Medidas en dirección perpendicular (RT): Los electrodos fueron introducidos a través de la base 20 mm. en dirección radial (perpendicular a los anillos de crecimiento), evitando la presencia de poros o anomalías visibles.

—Medidas en dirección paralela (RL): Los electrodos fueron introducidos 11 mm. en dirección vertical, alineados con los poros, en la zona central de la cara lateral del tapón, evitando la presencia de poros o anomalías visibles.

Tras la medición de la resistencia eléctrica se determinó la humedad real de cada probeta de ensayo, por desecación en estufa hasta masa constante, a 103±2°C.

RESULTADOS

Del análisis de los resultados obtenidos se observa que, a igualdad de sistema de medida (RT ó RL), existen diferencias significativas entre los modelos aplicables a los tapones de tipo natural (N) y de tipo aglomerado (AG). Esto quiere decir que no se puede aplicar el mismo modelo para estimar la humedad de los tapones de corcho natural que para estimar la de los tapones de corcho aglomerado.

También se observa que dentro de cada tipo de tapón (N ó AG) no existen diferencias significativas entre subgrupos, de forma que ni la procedencia (Andalucía ó Cataluña) en los tapones de tipo natural ni el tratamiento superficial aplicado (ST ó T) en los tapones aglomerados parecen modificar significativamente los modelos propuestos.

Respecto del sistema de medición (longitudinal o transversal), de los resultados obtenidos parece deducirse que su efecto es significativo tan sólo en los tapones de tipo aglomerado (AG) aunque no en los de tipo natural (N).

En la Tabla 2 (arriba de la página siguiente) pueden analizarse los valores estimados de la humedad mediante el uso de los modelos (Medición en sentido transversal) y los reales, obtenidos por el método de referencia (estufa). Se puede comprobar que en la estimación de la humedad por métodos eléctricos el error máximo se sitúa en el intervalo ±0,3% (valor absoluto) para los tapones de tipo aglomerado (AG) y en ±0,5% para los tapones de tipo natural (N). Ambos valores deben ser considerados como muy adecuados dado que cuando se trabaja con madera el intervalo de error habitualmente se sitúa en el ±1,0/±1,5%.

TABLA 1: DETALLE DEL MATERIAL ENSAYADO

TIPO DE TAPÓN	SIGLAS	DIAMETRO	LONGITUD	DENSIDAD
Natural. Calidad A. Origen: Andalucía.	N/A	24 mm	44 mm	153.85±5.44 (Kg/m ³)
Natural. Calidad A. Origen: Cataluña.	N/C	24 mm	44 mm	154.82±5.06 (Kg/m ³)
Aglomerado. Tratado superficialmente con parafina y silicona.	AG/T	23 mm	44 mm	290.68±0.34 (Kg/m ³)
Aglomerado, sin tratamiento superficial	AG/NT	23 mm	44 mm	292.72±0.61 (Kg/m ³)

TABLA 2: COMPARACIÓN ENTRE VALORES REALES (H) Y VALORES ESTIMADOS (H EST)

REF	h	TIPO	h_est	h_est-h	REF	h	TIPO	h_est	h_est-h
HR-31	4,1	AG	4,2	0,1	HR-01	4,5	N	4,7	0,2
HR-32	4,0	AG	4,2	0,1	HR-02	4,4	N	4,2	-0,2
HR-33	4,1	AG	4,2	0,0	HR-03	5,0	N	4,5	-0,5
HR-34	5,9	AG	5,7	-0,2	HR-04	5,8	N	5,7	-0,2
HR-35	5,6	AG	5,7	0,1	HR-06	5,4	N	5,8	0,4
HR-37	6,7	AG	6,8	0,1	HR-08	6,7	N	6,4	-0,3
HR-38	6,8	AG	6,7	-0,1	HR-09	7,1	N	6,7	-0,4
HR-39	6,8	AG	6,7	-0,1	HR-10	8,9	N	8,4	-0,5
HR-40	8,4	AG	8,2	-0,2	HR-11	8,9	N	9,4	0,5
HR-41	8,3	AG	8,5	0,2	HR-12	8,5	N	8,7	0,2
HR-42	8,5	AG	8,6	0,1	HR-16	4,2	N	4,4	0,2
HR-46	4,2	AG	4,2	0,0	HR-17	4,3	N	4,1	-0,2
HR-47	4,1	AG	4,3	0,3	HR-18	4,2	N	4,4	0,2
HR-48	4,3	AG	4,3	0,0	HR-19	5,2	N	5,6	0,4
HR-49	5,6	AG	5,5	-0,1	HR-20	5,8	N	5,3	-0,4
HR-50	5,8	AG	5,6	-0,2	HR-21	5,5	N	5,9	0,4
HR-51	5,7	AG	5,6	-0,1	HR-22	6,8	N	7,0	0,2
HR-52	6,6	AG	6,4	-0,1	HR-23	6,7	N	6,4	-0,2
HR-53	6,9	AG	6,6	-0,3	HR-24	7,0	N	6,8	-0,2
HR-54	6,6	AG	6,4	-0,1	HR-25	8,4	N	8,3	0,0
HR-55	8,4	AG	8,5	0,1	HR-26	7,4	N	7,7	0,3
HR-56	8,4	AG	8,2	-0,1	HR-27	9,0	N	9,2	0,2
HR-57	8,2	AG	8,4	0,2					

Fuente: Fernández-Golfín, J.L.; Conde García, M.; Conde García, M.; González Hernández, F.; Fernández-Golfín, J.J.; González Adrados, J.R.

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo anterior, se deduce que, usando los modelos obtenidos, es posible predecir el valor de la humedad de los tapones de corcho, tanto natural (N) como aglomerado (AG) con un error reducido ($\pm 0.5\%$ and $\pm 0.3\%$ respectivamente).

Es necesario, también, apuntar que ni la procedencia de los corchos naturales ni el tratamiento superficial en los corchos de aglomerado parecen tener incidencia significativa en los modelos planteados.

Por el contrario, el error aumentará si no se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

—Es necesario emplear modelos distintos (o efectuar ajustes) para los tapones de corcho natural que para los de corcho aglomerado.

—La forma de la medida (en la testa transversal a los anillos o longitudinalmente por los flancos) afecta a las medidas efectuadas sobre los tapones de corcho aglomerado pero no a las efectuadas sobre corcho natural, poniendo de manifiesto que el proceso de fabricación y el alineamiento estructural que se produce en los aglomerados ejerce una cierta influencia.

—Se desconoce el efecto de la temperatura del material, ya que se ha trabajado exclusivamente a 20°C.

Finalmente, indicar que los ajustes obtenidos permiten la calibración de los aparatos de medida de la humedad del corcho basados en la determinación de la resistencia eléctrica, lo que puede ser de utilidad en la mejora de los planes de calidad implantados en las empresas del sector. ■

SUMMARY

**Resumen en inglés del artículo añls-
dkfj alkjf sadjfdjf lsjf sfj slfj aslfjk**

*Resumen del artículo en inglés, resumen del artículo
en inglés, resumen del artículo en inglés, Resumen
del artículo en inglés, resumen del artículo en inglés,
resumen del artículo en inglés, Resumen del artículo
en inglés, resumen del artículo en inglés, resumen del
artículo en inglés, Resumen del artículo en inglés,
resumen del artículo en inglés, resumen del artículo
en inglés, Resumen del artículo en inglés, resumen
del artículo en inglés, resumen del artículo en inglés,
Resumen del artículo en inglés, resumen del artículo
en inglés, resumen del artículo en inglés, Resumen*